

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 10 MAR 2003

WIPO PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 01 861.8

**Anmeldetag:** 18. Januar 2002

**Anmelder/Inhaber:** Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München/DE

**Bezeichnung:** Vorrichtung zur schwingungsarmen Kraftmessung bei schnellen, dynamischen Zugversuchen an Werkstoffproben

**IPC:** G 01 N 3/08

### PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 19. Februar 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

W. H. H. H.

# Rösler

## Patentanwaltskanzlei

urpatent®

Rösler Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a, 81241 München

Deutsches Patent- und Markenamt

Zweibrückenstr. 12

80297 München

Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.  
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.\*

Patentanwälte,  
European Patent Attorneys,  
European Trademark Attorneys

Telefon: +49/(0)89/820 477 120  
Telefax: +49/(0)89/820 477 121  
email: ur@urpatent.com

18.01.2002, RÖ/He  
Unser Zeichen: F101R194

### Neue Deutsche Patentanmeldung

Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.,  
Leonrodstr. 54, 80636 München

---

Vorrichtung zur schwingungsarmen Kraftmessung bei schnellen, dynamischen  
Zugversuchen an Werkstoffproben

---

### **Technisches Gebiet**

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur schwingungsarmen Kraftmessung bei schnellen, crashrelevanten dynamischen Zugversuchen an Werkstoffproben, mit einer in die Einspannvorrichtung integrierten Kraftmesszelle mit wenigstens einem Kraftmesssensor.

### **Stand der Technik**

Crashsimulationen werden in zunehmendem Maß zur Vorausberechnung des Verformungs- und Versagensverhaltens von sicherheitsrelevanten Konstruktionen

und Bauteilen unter Crashbelastung eingesetzt. Damit wird z. B. im Automobilbereich die Crashesicherheit von Fahrzeugen bereits vor der Herstellung von Prototypen virtuell ermittelt, bewertet und ggf. durch geeignete Maßnahmen verbessert.

Da die Zuverlässigkeit dieser Crashsimulationen stark von der Genauigkeit der verwendeten Eingabedaten abhängt, werden immer genauere und zuverlässigere Werkstoffdaten benötigt. Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang genaue Kenntnisse über das Verformungs- und Versagensverhalten von Werkstoffen sowohl bei langsamen, statischen als auch besonders bei schnellen, dynamischen Belastungen.

Das Verformungsverhalten technischer Werkstoffe wird mit Hilfe sog. Spannungs-Dehnungskurven charakterisiert. Sie sind die Grundlage für Berechnungen des Verformungsverhaltens eines aus dem jeweiligen Werkstoff gefertigten Bauteils bei einwirkenden äusseren Beanspruchungen. Das Verformungsverhalten unterschiedlicher Werkstoffe und die charakteristischen Spannungs-Dehnungskurven sind unterschiedlich stark von der Dehnrates, also der „Schnelligkeit“ der einwirkenden Beanspruchung abhängig. Eine einmalige Belastung, die im Gegensatz zu statischer Belastung sehr viel schneller erfolgt, wird als dynamische Belastung bezeichnet.

Als Maßzahl für die „Schnelligkeit“ der dynamischen Belastung wird die sogenannte Dehnrates mit der Einheit  $[1/s]$  verwendet, also die relative Längenänderung pro Zeiteinheit. Bei konventionellen, genormten langsamen, statischen Prüfungen werden z.B. Dehnrates von etwa  $0,0001/s$  eingestellt. Dagegen treten in Crashsituationen und entsprechend bei crashrelevanten Versuchen Millionenfach schnellere Vorgänge mit Dehnrates bis zu  $1000/s$  auf. Eine Dehnrates von  $1000/s$  bedeutet anschaulich, dass eine angenommene Prüflänge von  $1\text{ m}$  innerhalb nur  $1\text{ s}$  auf die tausendfache Länge, also auf  $1000\text{ m} = 1\text{ km}$  Länge gedehnt würde. Bei den meisten technischen Werkstoffen tritt natürlich schon viel früher Versagen durch Bruch ein. Durch dynamische Belastungen, wie sie in Crashsituationen auftreten, können Bauteile oder Werkstoffproben in sehr kurzen Zeiten (im Bereich von

Bruchteilen von Millisekunden) bis hin zum vollständigen Versagen (Bruch) verformt werden.

Die Ermittlung von werkstoffspezifischen dynamischen Spannungs-Dehnungskurven wird typischerweise im Labor im Rahmen sog. Schnellzerreiversuche durchgeführt. Zur Durchführung derartiger Versuche werden an sich bekannte Schnellzerreimaschinen sowie Schlagwerke eingesetzt, um entsprechend geformte Werkstoffproben, die zumeist als Rund- oder Flachzugproben ausgebildet sind, neben langsamen statischen insbesondere auch schnellen dynamischen Beanspruchungen gezielt auszusetzen.

Die während der Beanspruchung auf derartige Werkstoffproben wirkenden Kräfte werden mit Kraftmesszellen gemessen. Bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten werden dazu bspw. sog. Piezo-Kraftmesszellen eingesetzt. Die Befestigung der zu überprüfenden Werkstoffprobe mit der Kraftmesszelle erfolgt dabei mit Hilfe einer zwischen der eigentlichen Kraftmesszelle und der Werkstoffprobe zwischengeschalteten Einspannvorrichtung. Bei langsamer, quasi-statischer Belastung der Werkstoffprobe lassen sich die innerhalb der Werkstoffprobe wirkenden Kräfte mit Hilfe dieser Kraftmesszelle bzw. Kraftmesszellenanordnung zuverlässig messen.

Bei zunehmender Belastungsrate, erfahrungsgemäß bei Dehnraten von mehr als  $1/s$  ist allerdings zu beachten, dass derartig schnelle Belastungsvorgänge (auch in Schnellzerreimaschinen) in der Regel durch Stoßbelastung verursacht bzw. eingeleitet werden. Dabei werden durch Trägheitskräfte in der Kraftmesszelle, in der zwischengeschalteten Einspannvorrichtung und in der Werkstoffprobe komplexe elastische Wellen- und Einschwingvorgänge angeregt, die letztlich zu schwer interpretierbaren Kraftsignalen mit überlagerten Oszillationen führen. Je nach Versuchsanordnung bilden sich dann unterschiedlich stark ausgeprägte, überlagerte Schwingungen aus, die zu erheblichen Fehlinterpretationen führen können. Damit kann auch gerade der für Steifigkeitsberechnungen wichtige elastische Anfangsbereich der Spannungs-Dehnungs-Kurve und der daran anschliessende, für

den Verlauf der Verformung wichtige Übergang in den plastischen Bereich - gekennzeichnet durch die technische Dehngrenze  $R_{p0,2}$  - mit zunehmender Dehnrates immer weniger genau bestimmt werden.

Ziel einer guten Hochgeschwindigkeits-Prüftechnik sollte es deshalb sein, diese überlagerten Schwingungen zu minimieren, um das Werkstoffverhalten bei schneller, einmaliger (zügiger) Belastung genau zu erfassen. Ebenso gilt es, das Werkstoffverhalten trotz der schnellen Belastung und den daraus resultierenden sehr kurzen Zeiten bis zum Bruch (im folgenden Beispiel nur wenig mehr als  $100\mu s = 0,0001s$  bis zum Bruch) genau zu messen.

Zur Vermeidung der vorstehend geschilderten Problematik, die insbesondere bei Werkstoffprobenuntersuchungen mit Dehnrates von mehr als  $1/s$  auftritt, ist vorgeschlagen worden, die Kraftmessung bei Zugversuchen unmittelbar auf der zu untersuchenden Werkstoffprobe selbst mit Dehnungsmessstreifen vorzunehmen, die im dickeren, nur elastisch verformten Teil der Proben zu applizieren sind. Einzelheiten zu diesem Vorschlag sind z.B. aus der nachfolgenden Fundstelle zu entnehmen: W. Böhme, D.-Z. Sun, W. Schmitt, A. Hönig: Application of Micromechanical Material Models to the Evaluation of Charpy Tests, ASME-Symposium: Advances in Local Fracture/Damage Models For The Analysis of Engineering Fracture Problems, Scottsdale, Arizona, April 28 – May 1, 1992, Eds.: J. H. Giovanola and A. J. Rosakis, AMD-Vol. 137, Book No. H00741, pp. 203-216, 1992.

Die aus der vorstehenden Druckschrift zu entnehmende Technik bezüglich der unmittelbaren Applizierung von Dehnungsmessstreifen auf der zu untersuchenden Werkstoffprobe ist auch in europaweiten Fachkreisen akzeptiert worden, woraus sich ein europäischer Standard entwickelt hat, siehe hierzu ESIS-document P7-00, Procedure for Dynamic Tensile Tests (2000).

Zwar ist es möglich mit der europaweit standardisierten Technik insbesondere bei Stählen unter hohen Belastungsrates präzise Kraftmessungen durchzuführen, doch

ist das Aufbringen von Dehnungsmessstreifen auf die zum Teil sehr klein dimensionierten Werkstoffproben sehr aufwendig und mit einem überaus filigranen Montageaufwand verbunden. Dies gilt besonders für aus Bauteilen entnommene und dann sehr klein dimensionierte Werkstoffproben, fast drahtähnliche Gebilde mit Prüfdurchmessern von manchmal weniger als 2mm, an deren kleindimensionierter Oberfläche entsprechende Dehnungsmessstreifen anzubringen sind. Hinzu kommt, dass eine derartige Messtechnik, zumindest bei hohen Genauigkeitsanforderungen, durch statische Vorversuche zu kalibrieren ist, womit ein zusätzlicher prüf- und messtechnischer Aufwand verbunden ist.

Außerdem scheitert diese Messtechnik, sobald sich nicht nur im Prüfteil sondern auch im dickeren Bereich der Probe mit den applizierten Messstreifen plastische Verformungen einstellen, da dann der lineare Zusammenhang zwischen der gemessenen Dehnung und der anliegenden Kraft verloren geht. Dies ist bei Werkstoffen mit nur kleinem linear-elastischem Bereich wie etwa bei Kunststoffen und Magnesiumlegierungen der Fall.

### **Darstellung der Erfindung**

Es besteht daher die Aufgabe, eine Vorrichtung zur Kraftmessung bei dynamischen Zugversuchen an Werkstoffproben mit einer Kraftmesszelle, in der wenigstens ein Kraftmesssensor integriert ist, derart auszugestalten, dass eine hochgenaue, schwingungsarme Kraftmessung während der Durchführung dynamischer Zugversuche an den Werkstoffproben bis hin zu hohen, crashrelevanten Dehnraten, also bis etwa 1000/s möglich wird, ohne dabei den vorstehend beschriebenen messtechnisch und montagebedingten Aufwand betreiben zu müssen. Vielmehr gilt es eine Vorrichtung anzugeben, die Messergebnisse mit annähernd der gleichen Messqualität wie beim vorstehend erläuterten europäischen Standardverfahren liefert, jedoch mit erheblich reduziertem messtechnischem Aufwand.

Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 10 ist ein erfindungsgemäßes Verfahren. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der

Unteransprüche sowie aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf das Ausführungsbeispiel zu entnehmen.

Erfindungsgemäß ist eine Vorrichtung zur Kraftmessung bei dynamischen Zugversuchen an Werkstoffproben, mit einer Kraftmesszelle, in der wenigstens ein Kraftmesssensor integriert ist, derart ausgebildet, dass die Kraftmesszelle vorzugsweise einstückig mit wenigstens einer ersten Verbindungseinheit verbunden ist, über die die Werkstoffprobe unmittelbar mit der Kraftmesszelle verbindbar ist.

Der der Erfindung zugrunde liegende Gedanke betrifft die Integration der Kraftmesszelle in die Einspannvorrichtung bzw. umgekehrt, wodurch eine möglichst kompakte Bauweise einer erfindungsgemäßen Kraftmesszelle möglich wird. Hierdurch können die Kraftsensoren möglichst nahe an der zu prüfenden Werkstoffprobe angeordnet werden. Schwingende Massen, wie bspw. bei der eingangs erläuterten Piezo-Kraftmesszelle können somit weitgehend vermieden werden, so dass das Messergebnis nachhaltig beeinflussende Störgrößen nahezu vollkommen ausgeschlossen werden können.

Die erfindungsgemäß ausgebildete Kraftmesszelle besteht im Wesentlichen aus einem einstückig gefertigten Gehäuse, in das wenigstens eine Verbindungseinheit zum lösbarfesten Verbinden mit einer Werkstoffprobe vorgesehen ist. In einer bevorzugten Ausführungsform für Rundzugproben ist die Verbindungseinheit als Schraubverbindung ausgebildet, die innerhalb des Gehäuses der Kraftmesszelle ein Innengewinde aufweist, in das ein entsprechendes Gegengewinde, das in geeigneter Weise an der Werkstoffprobe selbst vorgesehen ist, eingedreht werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, das Gehäuse der Kraftmesszelle in unmittelbarem, lösbar festen Kontakt mit der zu überprüfenden Werkstoffprobe zu bringen. Jegliche Zwischenelemente, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind, sind vollkommen entbehrlich. Der breitere, mit einem Aussengewinde versehene Teil der Messzelle ist mit einer feststehenden Basisplatte einer Belastungseinrichtung (z.B. Schnellzerreißmaschine) möglichst fest zu verbinden. Das der Kraftmesszelle

gegenüberliegende Ende der Probe ist zur Krafteinleitung mit dem beweglichen Teil der Belastungseinrichtung (z.B. Schnellzerreißmaschine) fest zu verbinden.

Neben der vorstehend als Schraubverbindung ausgebildeten Verbindungseinheit sind auch alternative Verbindungseinheiten denkbar, bspw. flansch- oder bolzenartig ausgebildete Verbindungsstrukturen, die vorzugsweise bei der Überprüfung von flachbandartig ausgebildeten Werkstoffproben Einsatz finden.

Möglichst nahe der mit der Kraftmesszelle verbundenen Werkstoffprobe ist am Gehäuse der Kraftmesszelle wenigstens ein Kraftmesssensor vorgesehen. In einer bevorzugten Ausführungsform sind vier symmetrisch zum Gehäuse angebrachte Dehnungsmessstreifen vorgesehen, die zur Erhöhung der Messgenauigkeit und zur Detektion und gegebenenfalls zur Kompensierung von Biegeanteilen jeweils gegenüberliegend am Gehäuse angebracht sind.

Die Dimensionierung des Gehäuses und die Wahl des Gehäusematerials der Kraftmesszelle richten sich grundsätzlich nach der Steifigkeit der zu prüfenden Werkstoffprobe bzw. des zu überprüfenden Werkstoffes. Als besonderes geeignetes Gehäusematerial haben sich Titanlegierungen erwiesen. Neben der Materialwahl ist jedoch auch die konstruktive Auslegung des Gehäuses der Kraftmesszelle wesensbestimmt für ihre Steifigkeit. So gilt es, das Gehäuse einerseits deutlich steifer als die Werkstoffprobe auszubilden, andererseits ist das Gehäuse jedoch ausreichend weich auszulegen, so dass hinreichend große Verformungen innerhalb des Gehäuses auftreten, die mit den am Gehäuse applizierten Dehnungsmessstreifen erfasst werden können.



### **Kurze Beschreibung der Erfindung**

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1            schematisierte Seitenansicht einer Kraftmesszelle,
- Fig. 2            charakteristische Spannungs-Dehnungs-Kurven sowie
- Fig. 3            photographische Darstellung einer Ausführungsform einer Kraftmesszelle.

### **Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit**

In Figur 1 ist eine Seitenansicht einer vorteilhaft ausgebildeten Kraftmesszelle 1 dargestellt, die aus einem einstückigen Gehäuse 2 besteht. Das Gehäuse 2 weist einen zylinderförmigen Abschnitt 3 mit einem Aussengewinde auf, an den sich konisch verjüngend ein zweiter, zylinderförmig ausgebildeter Abschnitt 4 anschließt. Das Gehäuse 2 ist aus einem Vollmaterial gefertigt und kann als Drehteil hergestellt werden. Vorzugsweise eignen sich als Gehäusematerial hochfeste Titanlegierungen. Zu Befestigungszwecken der Kraftmesszelle 1 bspw. an ein festes Gegenlager dient das Aussengewinde im Abschnitt 3. Eine zentrale Bohrung 5 dient vorzugsweise der einfachen konstruktiven Anpassung der Steifigkeit der Zelle im Bereich 4, die durch geeignete Wahl von Innen- und Aussendurchmesser erzielt wird. In gleicher Weise weist der zylinderförmige Abschnitt 4 der Kraftmesszelle 1 eine als Innengewinde ausgebildete Verbindungseinheit 6 auf, in die ein Außengewinde einer Werkstoffprobe (nicht dargestellt) lösbarfest eingedreht werden kann. Der zylinderförmig ausgebildete Bereich 4 der Kraftmesszelle 1, in dem zu Befestigungszwecken der Werkstoffprobe die Verbindungseinheit 6 in Form eines Innengewindes vorgesehen ist, weist zusätzlich an seiner äußeren Kontur vier symmetrisch zur Symmetrieachse 7 der Kraftmesszelle 1 angeordnete Dehnungsmessstreifen 8 auf. Durch die sich im Außendurchmesser im Bereich 4 verjüngende Außenkontur vermag das Gehäuse 2 in diesem Bereich 4 den bei Belastung der Werkstoffprobe in das Gehäuse 2 induzierten Verformungen in

gewissen Grenzen zu folgen, so dass diese Gehäuseverformungen höchstpräzise von den Dehnungsmessstreifen 8 erfasst werden können.

Selbst sehr schnelle Verformungen werden direkt über die Werkstoffprobe in den Bereich 4 der Kraftmesszelle 1 übertragen, ohne Beeinflussung durch resonantes Schwingungsverhalten angrenzender Einspannteile und angekoppelter Kraftmesszellen sowie deren Oszillationen.

In Figur 3 ist eine photographische Darstellung einer real ausgebildeten Kraftmesszelle 1 speziell für die Prüfung von Mini-Rundzugproben mit Prüfdurchmessern von weniger als 2 mm dargestellt, die mit ihrem Bereich 3 lösbarfest mit einem festen Gegenlager 9 verbunden ist. - Nur der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Proben durchaus auch größere Dimensionen annehmen können, sofern genügend Material verfügbar ist, mit 4-8mm Prüfdurchmesser, die auch entsprechend länger ausgebildet sind. Auch für derartige Proben ist dann eine entsprechend größer dimensionierte Kraftmesszelle zu verwenden. - Lösbarfest mit dem Bereich 4 der Kraftmesszelle 1 ist eine Werkstoffprobe 10 verbunden, die es gilt, in einem dynamischen Zugversuch zu prüfen. Es handelt sich hierbei um eine Mini-Rundprobe, die aus einer Magnesiumlegierung AM50 gefertigt ist. Zur Durchführung des dynamischen Zugversuches ist an dem oberen Ende der Werkstoffprobe 10 eine entsprechende Schnellzerreißmaschine bzw. ein entsprechendes Schlagwerk anzukoppeln (nicht dargestellt). Das neben der Kraftmesszelle 1 befindliche Geldstück verdeutlicht die Größenverhältnisse der Kraftmesszelle, die über eine sehr kleine und kompakte Bauform von wenigen cm verfügt.

Nur aus Gründen einer vollständigen Beschreibung der in Figur 3 abgebildeten Komponenten sei darauf hingewiesen, dass unmittelbar an der Werkstoffprobe 10 Dehnungsmessstreifen 13 angebracht sind, von denen filigran wirkende, noch anzuschliessende elektrische Verbindungsdrähte ausgehen. Die Messstreifen im dünnen Prüfteil der Probe dienen der hochpräzisen Dehnungsmessung bis etwa 1% Dehnung. Die im dickeren Teil der Proben applizierten Messstreifen wurden

zusätzlich angebracht, um eine simultane Kraftmessung entsprechend dem europäischen Normvorschlag im Vergleich zu der neuen Messzelle einzusetzen (Ergebnisse siehe Fig. 2). Eben diese letztgenannten Messstreifen werden durch die erfindungsgemäße Kraftmesszelle überflüssig. Die Abbildung vermag die aufwendige Applizierung derartiger Dehnungsmessstreifen an die Oberfläche der Werkstoffprobe 10 verdeutlichen.

Mit einer derartigen, in Figur 3 dargestellten realen Versuchsanordnung sind die Kräfte zur Ermittlung der Spannungen der in Figur 2 dargestellten dynamischen Spannungs-Dehnungs-Kurven ermittelt worden. Hierbei ist die Werkstoffprobe mit einer Abzugsgeschwindigkeit der Schnellzerreißmaschine von  $v = 5 \text{ m/s}$  und einer daraus resultierenden Dehnrate von  $500/\text{s}$  beaufschlagt worden. In dem in Figur 2 dargestellten Diagramm, entlang dessen Abszisse die Werkstoffdehnung in [%] und entlang dessen Ordinate die Spannung in Mega-Pascal [MPa] aufgetragen sind, repräsentiert der Diagrammverlauf 11 die Spannungs-Dehnungs-Kurve der Werkstoffprobe 10, die mit Hilfe der erfindungsgemäß ausgebildeten Kraftmesszelle aufgenommen wurde. Zur Verdeutlichung der Messqualität der Messkurve 11 ist eine zweite Spannungs-Dehnungs-Kurve 12 in dem Diagramm in Figur 2 eingetragen, die mit der wesentlich aufwändigeren Probeninstrumentierung in Verbindung mit einer statisch ermittelten, nichtlinearen Kalibrierkurve gewonnen worden ist, eine Technik, die eine Erweiterung des eingangs erläuterten europäischen Standards darstellt. Es bleibt zu erwähnen, dass die Dehnungen der Werkstoffprobe bis etwa 1% Dehnung auf der Dehnungsmessstreifen-Messung im dünnen Prüfteil der Probe basieren, danach auf der Vermessung von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen.

Die in Figur 2 dargestellten Messergebnisse verdeutlichen, dass die hohe Qualität der Messung gemäß des Standes der Technik durchaus auch mit der erfindungsgemäßen Kraftmesszelle (siehe hierzu Messkurve 11) erreicht werden kann. Nur aus Gründen der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass die gestrichelt eingetragene Gerade die Hooke'sche Gerade für lineares Werkstoffverhalten darstellt, wohingegen die punktiert eingetragene Gerade eine demgegenüber um 0,2% versetzte Hilfslinie ist, deren Schnittpunkt mit der

gemessenen Spannungs-Dehnungskurve definitionsgemäß die technische Dehngrenze  $R_{p0,2}$  ist, die im allgemeinen ebenso wie die Spannungs-Dehnungskurve von der Dehnrage abhängig ist. Im vorliegenden Fall läßt sich die dynamische Dehngrenze für eine Dehnrage von 500/s bestimmen.

Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Kraftmesszelle kann insbesondere auch der Anfangsbereich nahe dem Koordinatenursprung gemäß der Diagrammdarstellung in Figur 2 mit hoher Genauigkeit und weitgehend unbeeinflusst von überlagerten Schwingungen erfasst werden. Insbesondere kann auch der dynamische E-Modul des jeweiligen Werkstoffes aus der Anfangssteigung bestimmt werden.

Durch die erfindungsgemäße Ausbildung der Kraftmesszelle sind somit folgende Vorteile gegenüber dem Stand der Technik anzuführen:

- keine oder extrem geringe Oszillationen in den mit der Kraftmesszelle erfassbaren Messsignalen,
- die Messgenauigkeit der erfindungsgemäßen Kraftmesszelle ist vergleichbar mit der viel aufwendigeren Probeninstrumentierung gemäß europäischem Standard,
- reduzierter Aufwand und dadurch reduzierte Kosten, da keine Probeninstrumentierung erforderlich ist,
- reduzierter Aufwand und dadurch reduzierte Kosten, da keine statischen Kalibrierversuche mit der instrumentierten Probe erforderlich sind,
- einfache Handhabung und Einsetzbarkeit der erfindungsgemäßen Kraftmesszelle, vergleichbar mit statischen Kraftmesszellen,
- die Kraftmesszelle ist auch bei Werkstoffen ohne ausgeprägten linear-elastischen Anfangsbereich einsetzbar, wie bspw. bei Magnesiumlegierungen oder Kunststoffen, bei denen die Messung mit Probeninstrumentierung gemäß europäischen Standard und bei Verwendung linearer Kalibrierfaktoren versagt,
- Konstruktions- und Messprinzip ist problemlos anwendbar für unterschiedliche dynamische Versuchsanordnungen, wie bspw. Rundzug- oder Flachzugproben unterschiedlicher Größe.

**Bezugszeichenliste**

- 1 Kraftmesszelle
- 2 Gehäuse
- 3, 4 Zylinderförmig ausgebildeter Gehäusebereich
- 5 Bohrung
- 6 Innengewinde
- 7 Symmetrieachse
- 8 Kraftmesssensor, Dehnungsmessstreifen
- 9 Festes Gegenlager
- 10 Werkstoffprobe
- 11 Messkurve, aufgenommen mit erfindungsgemäßer Kraftmesszelle
- 12 Messkurve gemäß Stand der Technik
- 13 Dehnungsmessstreifen-Instrumentierung gemäß ESIS-Normvorschlag P7-00

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Kraftmessung bei dynamischen Zugversuchen an Werkstoffproben, mit einer Kraftmesszelle, in der wenigstens ein Kraftmesssensor integriert ist,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kraftmesszelle direkt mit einer integrierten Verbindungseinheit versehen ist, mit der die Werkstoffprobe unmittelbar verbindbar ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Verbindungseinheit eine Schraubverbindung ist, mit einer an der Kraftmesszelle vorgesehenen Gewindekontur, in die ein an der Werkstoffprobe vorgesehenes Gegengewinde lösbar fest einfügbar ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Verbindungseinheit eine Flansch- oder bolzenartig ausgebildete Verbindungsstruktur ist, und  
dass an der Werkstoffprobe ein korrespondierender Gegenflansch bzw. eine zur bolzenartig ausgebildeten Verbindungsstruktur korrespondierende Verbindungskontur vorgesehen ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kraftmesszelle im Bereich der Verbindungseinheit wenigstens einen Kraftmesssensor aufweist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kraftmesszelle ein Gehäuse aufweist, das zumindest im Bereich der Messzelleninstrumentierung eine geringere Gehäusewandstärke aufweist als im übrigen Gehäusebereich.

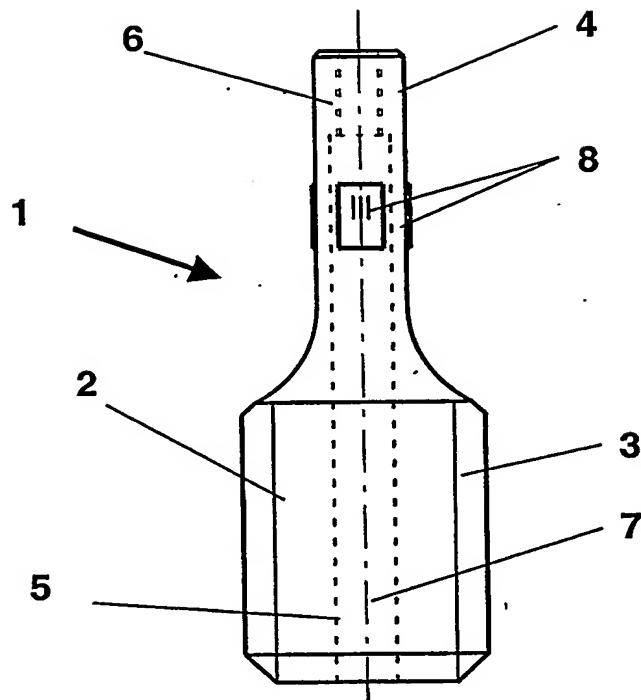
6. Vorrichtung nach Anspruch 5,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass das Gehäuse eine Axialsymmetrie aufweist, längs deren Symmetrieachse die Zugkraft über die Werkstoffprobe auf die Kraftmesszelle einwirkt.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kraftmesszelle eine zweite Verbindungseinheit aufweist, die der ersten Verbindungseinheit diametral gegenüberliegt und über die die Kraftmesszelle an einem festen Gegenlager befestigbar ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kraftmesszelle ein Gehäuse aufweist, das aus einem Material gefertigt ist, dessen Elastizitätsmodul von dem des zu prüfenden Werkstoffs abweicht.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass das Gehäusematerial zumindest Titan enthält.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kraftmesszelle einstückig mit der wenigstens ersten Verbindungseinheit verbunden ist.
11. Verfahren zur Kraftmessung bei dynamischen Zugversuchen an Werkstoffproben, bei dem mit einer Kraftmesszelle, in der wenigstens ein Kraftmesssensor integriert ist, eine auf die Werkstoffprobe einwirkende Kraft gemessen wird,  
dadurch **gekennzeichnet**, dass vor, während und nach der Messung die Kraftmesszelle unmittelbar mit der Werkstoffprobe verbunden wird.

### **Zusammenfassung**

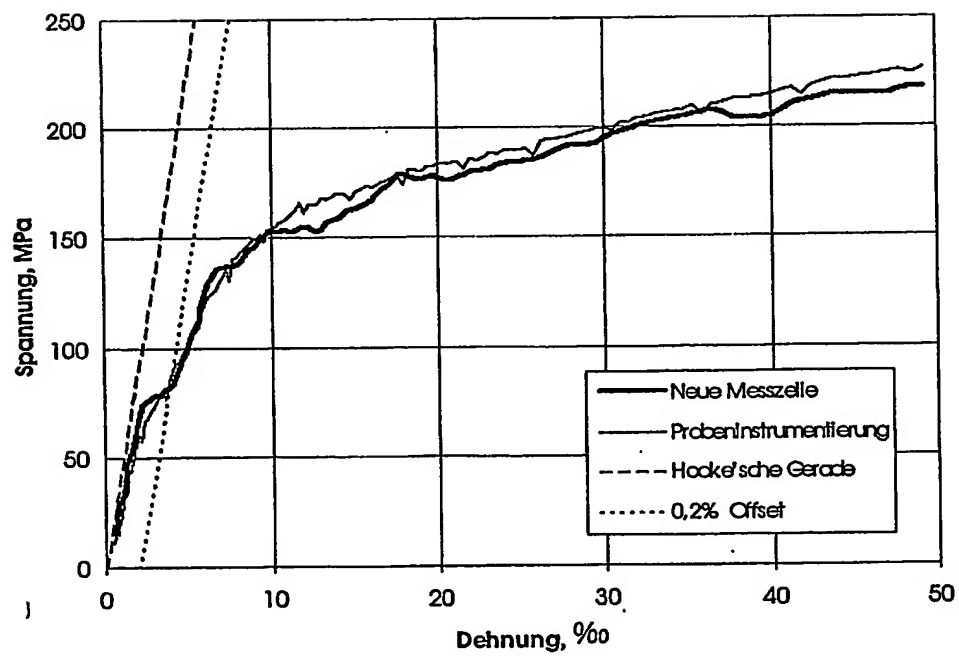
Beschrieben wird eine Vorrichtung zur Kraftmessung bei dynamischen Zugversuchen an Werkstoffproben, mit einer Kraftmesszelle, in der wenigstens ein Kraftmesssensor integriert ist.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Kraftmesszelle direkt mit wenigstens einer integrierten Verbindungseinheit versehen ist, mit der die Werkstoffprobe unmittelbar verbindbar ist.





**Fig. 1**



**Fig. 2**

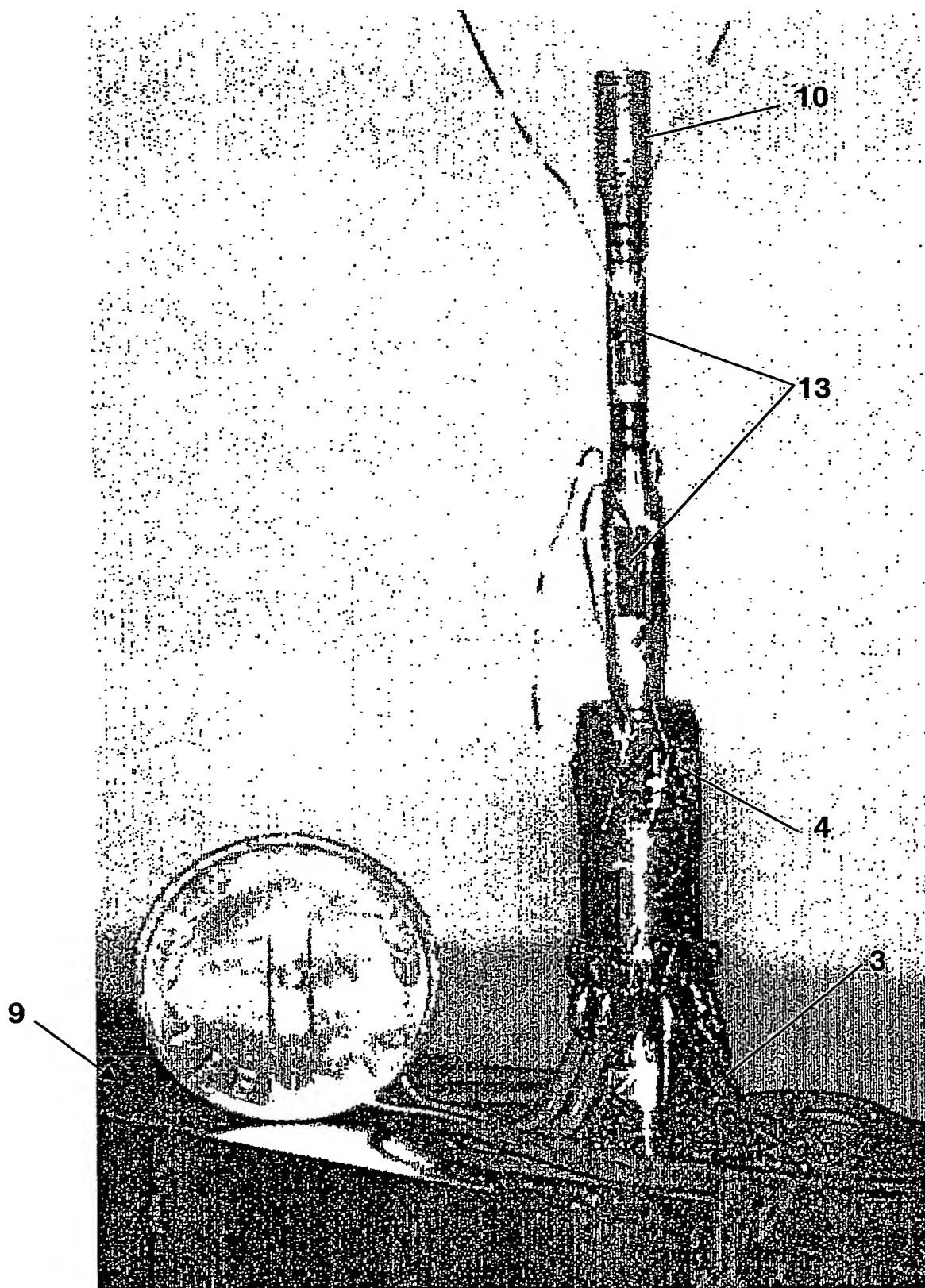


Fig. 3

BEST AVAILABLE COPY